

## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### **2.1. Sistem Pembangkit Listrik**

##### **2.1.1. Gambaran Umum PLTGU**

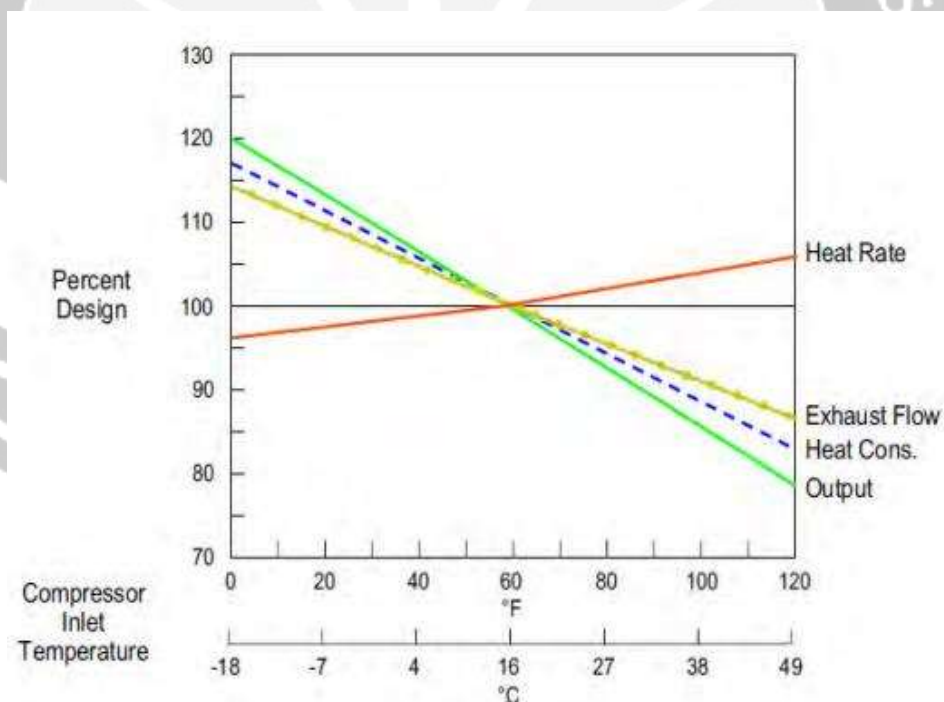
Energi merupakan salah satu kebutuhan manusia yang paling penting dalam kehidupan sehari-hari. Hal itu berdampak semakin meningkatnya kebutuhan energi dari waktu ke waktu, maka dari itu salah satu cara untuk memenuhinya adalah memperolehnya dari berbagai sumber. Salah satunya diperoleh dari pembangkit listrik tenaga uap. Menurut Malikusworo dan Arinardi (1992), bahwa pembangkit listrik tenaga gas uap adalah pembangkit listrik yang menggunakan tenaga gas dan uap yang menggerakkan turbin untuk menghasilkan tenaga listrik ini bekerja dengan menggunakan air sebagai cairan kerja.

Fakta bahwa air membutuhkan biaya yang rendah, mudah didapatkan dan merupakan media yang efektif yang digunakan sebagai penukar panas (Keister, 2008). Air diubah menjadi uap di ketel. Saat keluar dari turbin, uap dimasukkan ke mesin pengembun (kondensor) dengan pendingin yang berasal dari air sehingga mencair kembali dan terakhir dipompakan lagi ke ketel uap untuk diuapkan kembali.

Tugas utama air pendingin adalah mengambil kalor dari kondensor sehingga air pendingin mengalami kenaikan temperatur. Menurut Nurjayanti dan Subakti (2010) permasalahan utama yang selalu muncul dari kegiatan buangan hasil proses *cooling water system* adalah temperatur air buangan dari tersebut jauh lebih tinggi dari temperatur lingkungan di sekitarnya, umumnya temperatur air buangan tersebut dapat mencapai 40° C.

Air pendingin mempunyai pengaruh yang cukup besar terhadap efisiensi total mesin serta umur mesin. Apabila temperatur air pendingin yang masuk ke mesin terlalu tinggi temperaturnya maka akan berdampak pada efisiensi mekanis mesin yang akan menurun dan dikhawatirkan dapat terjadi *over-heating* pada mesin. Sedang bila temperatur air terlalu rendah maka efisiensi *thermal* akan menurun (Handoyo, 1999).

Temperatur air pendingin yang masuk melalui saluran *inlet* mempengaruhi *output* yang dihasilkan. Hal ini disebabkan oleh proses perpindahan panas dari mesin ke air pendingin dan jumlah panas yang diserap oleh air pendingin dari mesin. Hal ini dapat dilihat dari Gambar 3.1 berikut ini.



**Gambar 2.1.** Grafik hubungan temperatur *intake* dengan kinerja mesin

(Sumber : Brook,2000)

Gambar 2.1 menjelaskan grafik hubungan antara temperatur *inlet* dengan efisiensi mesin. Pada gambar 2.1 dapat dilihat bahwa saat temperatur mengalami peningkatan maka panas yang diserap mesin menurun sehingga proses pendinginan mesin akan membutuhkan waktu yang lebih lama. Hal ini berdampak terhadap berkurangnya energi yang akan dihasilkan sehingga efisiensinya akan menurun.

Apabila peningkatan temperatur ini dibiarkan maka semakin lama temperatur dari *inlet* yang diserap oleh mesin akan menjadi semakin tinggi sampai menyebabkan mesin mengalami *over-heat* dan mengakibatkan kerusakan pada mesin, tentunya ini akan berdampak merugikan bagi perusahaan baik dalam perbaikan karena mesin yang digunakan dalam pembangkit ini terbilang mahal dan energi yang dibutuhkan tidak terpenuhi.

### 2.1.2. Sistem Pembangkit di PLTU

Peralatan mekanik utama sistem PLTU adalah ketel uap (*boiler*), turbin uap, kondensor dan generator. Uraian cara kerja PLTU adalah sebagai berikut:

1. Sistem pembakaran di unit PLTU diawali dengan pengambilan oksigen dari udara bebas menggunakan *Force Draft Fan*.
2. Kemudian pada ruang bakar tersebut diinjeksikan bahan bakar gas sehingga terjadi pembakaran untuk memanaskan air di *boiler* agar terbentuk uap dengan tekanan sekitar 126 kg/cm. untuk unit 4 & 5 pada temperatur sekitar 500° C.
3. Uap panas ini selanjutnya digunakan untuk memutar turbin tekanan tinggi (*high pressure turbin*), kemudian uap buangnya dimasukkan kembali ke dalam *boiler* unit PLTU 4 & 5 untuk dipanaskan ulang agar menghasilkan

uap bertekanan menengah untuk pemutar turbin tekanan menengah (*intermediate pressure turbin*), kemudian uap buangnya dimanfaatkan sebagai pemutar turbin tekanan rendah (*low pressure turbin*). Poros dari ketiga jenis tekanan turbin tersebut merupakan satu kesatuan dan poros tersebut disambung langsung dengan poros generator, sehingga menghasilkan listrik.

4. Uap buangnya setelah menggerakkan turbin tekanan rendah (*low pressure turbin*) selanjutnya di kondensasi di dalam kondensor untuk disirkulasi kembali ke *boiler* sehingga menjadi sistem tertutup. Air pendingin menggunakan air laut yang diambil melalui intake kanal.
5. Gas buang dari ruang pembakaran dilepas (dibuang) melalui cerobong yaitu PLTU Unit 4 & 5 memiliki ketinggian 107 m dan diameter 4,25 m.

### **2.1.3. Sistem Pembangkit di PLTG**

PLTG mempunyai konsep umum menkonversi energi kinetik dari gas untuk menghasilkan putaran pada turbin gas sehingga menggerakkan generator dan kemudian menghasilkan energi listrik. Turbin gas suatu PLTG berfungsi untuk mengubah energi yang terkandung di dalam bahan bakar menjadi mekanis. Fluida kerja untuk memutar Turbin Gas adalah gas panas yang diperoleh dari proses pembakaran.

Proses pembakaran memerlukan tiga unsur utama yaitu bahan bakar, udara, dan panas. Dalam proses pembakaran ini bahan bakar disuplai oleh pompa bahan bakar (*fuel oil pump*) apabila digunakan bahan bakar minyak, atau oleh kompresor gas apabila menggunakan bahan bakar gas alam. Pada umumnya kompresor gas

disediakan oleh pemasok gas tersebut. Udara untuk pembakaran diperoleh dari kompresor utama, sedangkan panas untuk awal pembakaran dihasilkan oleh *ignitor* (busi).

Proses pembakaran dilaksanakan didalam *Combustion Chamber* (ruang bakar). Energi mekanis yang dihasilkan oleh turbin gas digunakan untuk memutar generator listrik, sehingga diperoleh energi listrik. Tentu saja untuk dapat berjalannya operasi PLTG dengan baik perlu dilengkapi dengan alat-alat bantu, kontrol, instrumentasi, proteksi, dan sebagainya. Siklus prinsip kerja PLTG dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Pertama-tama udara dengan tekanan atmosfer ditarik masuk ke dalam *compressor* melalui pintu, udara ditekan masuk ke dalam *compressor*.
2. Udara ditekan masuk ke dalam ruang bakar dengan tekanan 250 Psi dicampur dengan bahan bakar dan dibakar dalam ruang bakar dengan temperatur  $2000^{\circ} - 3000^{\circ} \text{ F}$ .
3. Udara yang dibakar akan menghasilkan gas dengan tekanan dan temperatur yang sangat tinggi. Gas hasil pembakaran yang merupakan energi termal dengan temperatur dan tekanan yang tinggi suhunya kira-kira  $900^{\circ} \text{ C}$ .
4. Dari energi panas yang dihasilkan inilah kemudian akan dimanfaatkan untuk memutar turbin dimana didalam sudu-sudu gerak dan sudu-sudu diam turbin, gas panas tersebut temperatur dan tekanan mengalami penurunan dan proses ini biasa disebut dengan proses ekspansi.
5. Selanjutnya energi mekanis yang dihasilkan oleh turbin digunakan untuk memutar generator hingga menghasilkan energi listrik.

#### 2.1.4. Sistem Pembangkit di PLTGU

PLTGU adalah siklus kombinasi antara PLTG dan PLTU yang uraian proses produksinya adalah sebagai berikut:

1. Sistem diperoleh di PLTG diawali dengan pengambilan oksigen dari udara bebas dan menempatkannya ke ruang bakar menggunakan kompresor sehingga diperoleh udara dengan tekanan tinggi. Kemudian pada ruang bakar tersebut diinjeksikan bahan bakar gas sehingga terjadi pembakaran yang menghasilkan gas dengan tekanan dan temperatur tinggi. Kemudian gas-gas tersebut melalui nozle-nozle mendorong sudut-sudut turbin gas menghasilkan gerakan berputar (rotasi) dengan kecepatan 3.000 Rpm. Selanjutnya dengan menggunakan gigi starter berupa motor listrik atau rpm sehingga menghasilkan listrik.
2. Selain menggerakkan poros generator, poros turbin juga menggerakkan poros kompresor sehingga proses pembakaran berlanjut. Pada awal proses pembakaran, proses turbin dan kompresor diputar dengan starter berupa motor listrik atau motor diesel.
3. Selanjutnya gas bertekanan dan temperatur tinggi tersebut setelah memutar turbin (temperatur sekitar  $500^{\circ}\text{C}$ ) dimanfaatkan untuk pemanas air dalam boiler yang diproses dalam *Heat Recovery Steam Generator* (HRSG), sehingga diperoleh uap bertekanan tinggi yang dimanfaatkan sebagai

pemutar poros turbin uap untuk memutar generator, sehingga dihasilkan listrik seperti proses yang diuraikan di sub bagian PLTU sebelumnya.

## **2.2. Sistem Air Pendingin PLTGU**

Sistem pendinginan adalah suatu rangkaian untuk mengatasi terjadinya *over heating* (panas yang berlebihan) pada mesin agar mesin bisa bekerja secara stabil. Fungsi utama dari sistem air pendingin utama adalah menyediakan dan memasok air pendingin yang diperlukan untuk mengkondensasikan uap bekas dan *drain* uap di dalam kondensor. Fungsi lainnya adalah memasok air untuk mendinginkan “*Heat Exchanger*” pada sistem air pendingin bantu (*auxiliary cooling water*) yang merupakan siklus pendingin tertutup.

Air pendingin utama merupakan media pendingin untuk menyerap panas laten uap bekas dari turbin yang mengalir kedalam kondensor. Tanpa pasokan air pendingin turbin kondensasi tidak dapat dioperasikan. Sedangkan aliran air pendingin utama yang kurang dapat menyebabkan vakum kondensor menjadi rendah dan dapat mengakibatkan unit trip.

Sistem air pendingin harus dirancang mampu memenuhi kebutuhan operasi unit pembangkit secara kontinyu, ekonomis dan handal. Rancangan sistem air pendingin harus meliputi :

1. Menjamin tersedianya air untuk keperluan operasi PLTGU pada setiap waktu.
2. Jumlah aliran airnya cukup untuk menghasilkan efisiensi PLTGU yang optimal pada semua kondisi beban temperatur.

3. Penyediaan air yang stabil pada semua kondisi tanpa perlu pengaturan
4. Pemeliharaannya murah dan mudah dilakukan
5. Biaya investasi dan operasinya rendah

Jumlah dan temperatur air pendingin yang tersedia akan menentukan vakum kondensor maksimum yang dapat dicapai. Oleh karena itu banyak PLTU atau PLTGU yang dibangun di tepi pantai (laut) berhubungan dengan tersedianya sumber air yang tak terbatas. Aliran uap bekas (*exhaust steam*) turbin yang masuk kondensor harus terdistribusikan sedemikian rupa sehingga perpindahan panas laten uap ke air pendingin berlangsung dengan optimal. Kondensor hanya perlu untuk mengkondensasikan uap saja, pendinginan lebih lanjut justru akan merugikan.

Jumlah panas yang dibuang ke laut atau udara sangatlah besar, tetapi kerugian panas ini menjadi berkurang apabila kapasitas unitnya makin besar. Sebagai gambaran untuk mengkondensasikan 0.45 kg uap di kondensor diperlukan air pendingin sekitar 29 kg. PLTU kapasitas 20 MW atau lebih kecil memerlukan sekitar 0.22 m<sup>3</sup> air pendingin untuk setiap tenaga listrik yang dibangkitkan (0.22 m<sup>3</sup>/kwh).

### **2.3. Jenis Sistem Air Pendingin PLTGU**

#### **2.3.1. Sistem Air Pendingin Siklus Terbuka**

Pada umumnya sistem air pendingin utama terdiri dari komponen :

1. *Intake* (untuk sistem air pendingin siklus terbuka)
2. Saringan (*screen*)



3. Pompa (*cooling water pump*-CWP)
4. Katup dan Pemipaan (*pipping*)

Untuk sistem air pendingin siklus terbuka tidak dilengkapi dengan menara pendingin (*cooling tower*), sebaliknya pada sistem siklus tertutup (resirkulasi) tidak dibutuhkan *intake* yang dipasang saringan-saringan, cukup dengan satu saringan sederhana. Dalam sistem siklus terbuka, air pendingin dipasok secara kontinyu dari sumber tak terbatas seperti sungai, danau atau laut yang dipompakan ke kondensor untuk akhirnya dibuang kembali ke asalnya. Dengan menggunakan pompa, air dari sumber dipompa dan dialirkan ke kondensor dan *heat exchanger* kemudian dibuang ke saluran pembuangan.

Letak saluran masuk dan saluran pembuangan air pendingin harus dibuat terpisah sejauh mungkin. Pemisahan ini bertujuan untuk mencegah terjadinya resirkulasi air dari sisi pembuangan mengalir ke sisi masuk. Resirkulasi akan menyebabkan penurunan efisiensi kondensor karena temperatur air menjadi tinggi.

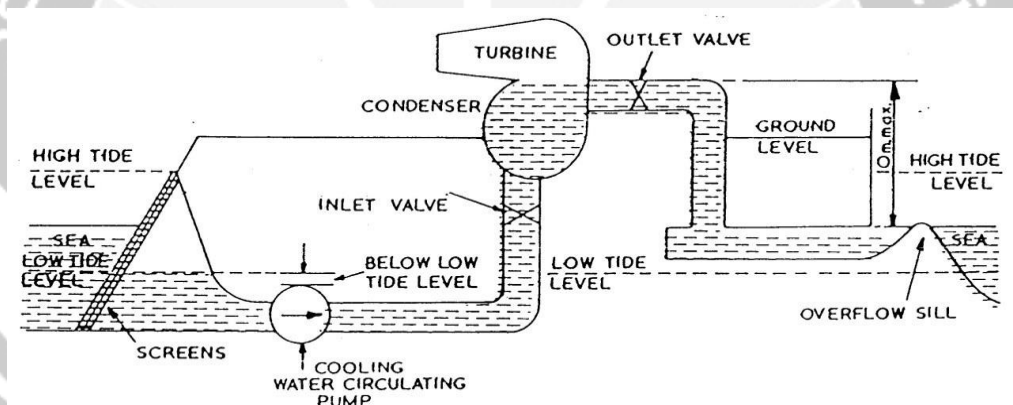
Keuntungan sistem air pendingin siklus terbuka dibanding siklus tertutup antara lain adalah :

1. Biaya modal dan biaya operasinya lebih rendah.
2. Peralatan yang digunakan lebih sedikit.
3. Kinerja kondensor lebih baik karena temperatur air pendingin masuk lebih rendah.

Sedangkan kerugiannya adalah :

1. Kualitas air tidak dapat dikontrol.

2. Memerlukan ijin dari instansi lingkungan, karena menimbulkan pencemaran lingkungan
3. Sumber air harus tersedia dalam jumlah yang besar dan kontinyu.
4. Sistem siklus terbuka digunakan pada unit-unit pembangkit yang sumber airnya tak terbatas, seperti air laut atau danau. Temperatur air ke sisi pembuangan harus dijaga pada batas yang memenuhi syarat, karena air yang panas cenderung menimbulkan bau dan dapat mematikan ikan. Gambar 3.2. menunjukkan diagram sistem air pendingin siklus terbuka untuk lokasi unit pembangkit di tepi laut.



**Gambar 2.2.** Sistem air pendingin utama siklus terbuka

(Sumber : Rakhman,2013)

Pada sistem ini dibuat pembatas level minimum berupa gundukan atau bak pada sisi air keluar kondensor. Hal ini dimaksudkan agar diperoleh efek *syphonic* walaupun level air bervariasi. Efek *syphonic* memberikan keuntungan, karena dengan bantuan efek *syphonic* tenaga pemompaan menjadi lebih ringan. Sisi masuk pompa harus dipasang dibawah permukaan air terendah pada saat pasang rendah

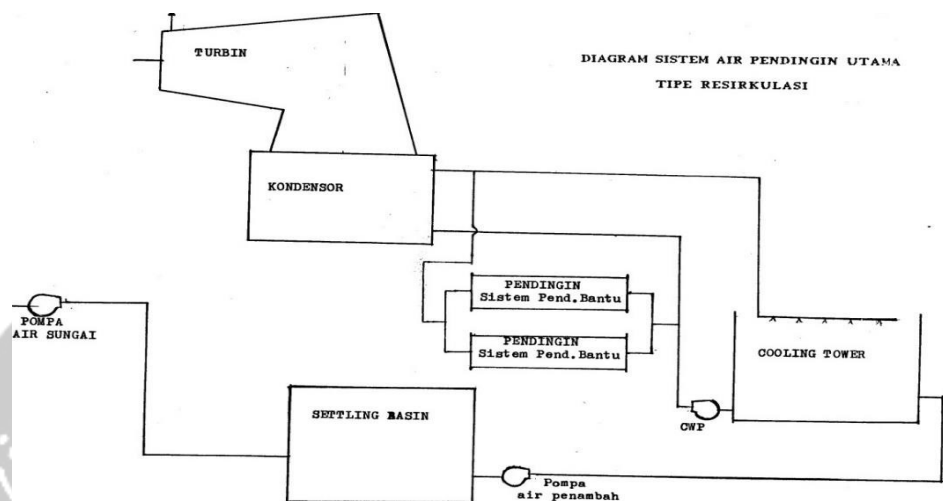
untuk mencegah terjadinya kehilangan sisi hisap dan menjamin bekerjanya sistem *syphonic*.

### 2.3.2 Sistem Air Pendingin Siklus Tertutup

Secara prinsip, sistem air pendingin utama siklus tertutup menggunakan media air pendingin yang sama secara berulang dalam sirkulasi tertutup seperti terlihat pada Gambar 3.3. Sistem ini membutuhkan biaya investasi yang lebih besar dibanding sistem siklus terbuka. Hal ini karena menggunakan menara pendingin yang mahal. Biaya operasinya juga lebih besar karena sistemnya tidak dapat dibuat *syphonic effect* sehingga memerlukan tenaga pemompaan yang lebih besar. Bahkan apabila menggunakan sistem draft (tarikan) paksa memerlukan beberapa *fan* yang beroperasi terus menerus.

Namun sistem siklus tertutup merupakan solusi terhadap tersedianya jumlah air yang terbatas, karena air pendingin dipakai berulang-ulang dan kehilangan air pendingin relatif sedikit.

Sirkulasi air pendingin adalah dari bak penampung menara pendingin (*cooling tower*) dipompakan ke kondensor oleh pompa air pendingin utama (CWP) untuk mengkondensasikan uap bekas dengan cara menyerap panas laten dari uap bekas tersebut. Akibat proses dikondensor, temperatur air pendingin keluar kondensor akan mengalami kenaikan. Karena air akan disirkulasikan kembali ke kondensor, maka air pendingin ini harus didinginkan terlebih dahulu.



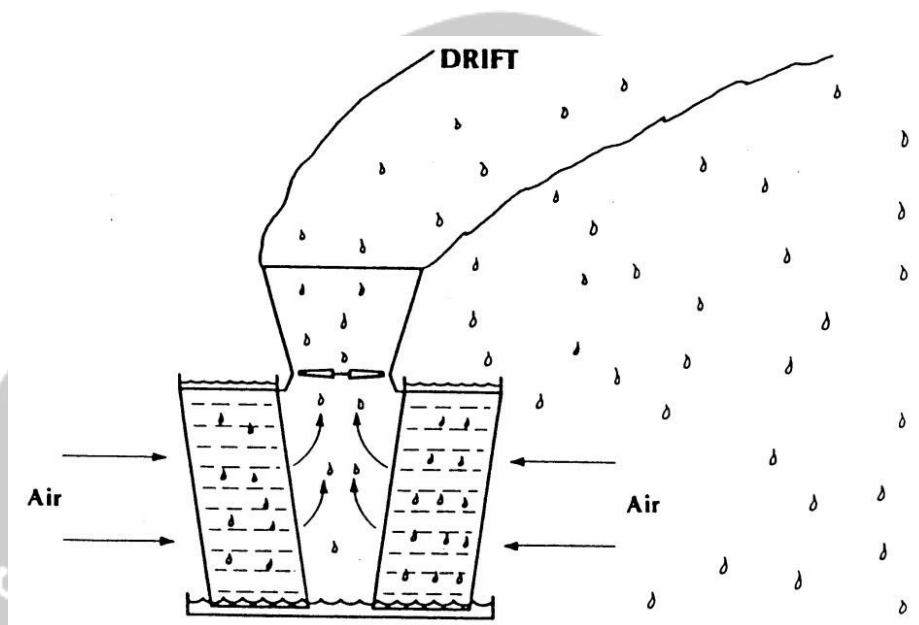
**Gambar 2.3.** Sistem air pendingin utama siklus tertutup

(Sumber : Rakhman, 2013)

Proses pendinginan air dilaksanakan di menara pendingin (*Cooling Tower*). Didalam menara pendingin, air pendingin didinginkan oleh udara sehingga temperaturnya kembali turun dan siap disirkulasikan kembali kedalam kondensor. Dalam contoh aplikasi sistem air pendingin utama siklus tertutup, fungsi sebagian besar komponennya seperti kondensor, *Auxiliary Cooling water heat Exchanger*, *Traveling Screen* sama seperti dalam sistem air pendingin utama siklus terbuka.

Perbedaannya hanya terletak pada menara pendingin (*Cooling Tower*) yang tidak terdapat pada sistem air pendingin siklus terbuka. Sedangkan gambar dibawah menunjukkan proses pembuangan panas yang mengakibatkan terbawanya butir air (*drift*) ke udara sekitar menara pendingin. Gambar 3.4. memperlihatkan aliran pembuangan udara/gas panas (*drift*) dari menara pendingin ke atmosfer, dimana

sebagian tetes air ikut terbawa. Hal ini mengakibatkan berkurangnya jumlah air pendingin didalam siklus tertutup.



**Gambar 2.4.** Pembuangan panas di menara pendingin siklus tertutup  
(Sumber : Rakhman, 2013)

#### **2.4. Penelitian Sebelumnya Mengenai Topik Penulisan**

Penelitian tentang analisis dispersi *thermal* ini pernah dilakukan. Namun kondisi yang dimodelkan berbeda. Pada penelitian sebelumnya permodelan difokuskan untuk mengetahui bagaimana pola dan karakteristik sebaran panas air buangan pada PLTGU Muara Karang ketika pembangkit blok III sudah terbangun sehingga tentunya *outfall* akan bertambah dan semakin tinggi suhu air hasil buangan. Analisis sebelumnya digunakan sebagai acuan dalam menentukan langkah selanjutnya, apakah kanal *intake* harus diperpanjang atau tidak ditinjau dari kenaikan temperatur pada kanal intake setelah berdirinya pembangkit Blok III.

Analisis ini bertujuan untuk mengetahui pola dan karakteristik sebaran panas pada air hasil buangan ketika pembangkit Blok III sudah terbangun dan Pulau G sudah terbentuk, hal ini perlu dilakukan karena pastinya dengan adanya Pulau G yang berada tepat disamping kanal intake akan menyebabkan area penyebaran panas air hasil buangan semakin sempit dan tentunya akan berpengaruh pada kenaikan temperatur pada kanal intake. Perbedaan lain dari analisis ini adalah pada penggunaan program dalam permodelannya yaitu menggunakan program Delft 3D.

Nurjaya dan Surbakti (2010) melakukan analisis yang juga berhubungan dengan analisis sebaran panas air hasil buangan ketika terdapat reklamasi pada sebuah PLTGU di Cilegon. Pada analisis tersebut menunjukkan bahwa lahan reklamasi yang berada di dekat outfall PLTGU berpengaruh terhadap pola sebaran panas air hasil buangan dan juga jangkauan temperatur panas yang semakin panjang akibat berkurangnya area sebaran panas untuk air hasil buangan. Oleh dari itu analisis ini perlu dilakukan.

## **2.5. Hidrodinamika Laut**

### **2.5.1. Sejarah Hidrodinamika**

Kata hidrodinamika pertama dikenalkan oleh Daniel Bernoulli pada tahun 1700 - 1783 untuk mengenalkan dua macam ilmu hidrostatis dan hidraulik. Beliau pun mengeluarkan teori yang terkenal dengan nama teori Bernoulli. Kemudian d'Alembert pada tahun 1717 - 1783 melakukan penelitian mengenai tahanan, dan menghasilkan paradox atas nama dirinya dan mengenalkan teori hukum konservasi massa, persamaan kontinuitas pada aliran fluida. Euler pada tahun 1707-1783 menghasilkan persamaan gerak fluida ideal dan mengembangkan

teori matematisnya dan dilanjutkan oleh Lagrange pada tahun 1736-1813. Navier pada tahun 1785-1836 menyatakan penemuan tentang persamaan gerak untuk fluida berviskositas berdasarkan interaksi molekul. Stokes pada tahun 1819-1903 juga menemukan persamaan gerak untuk fluida berviskositas, beliau terkenal dengan penemuan teori modern hidrodinamika.

Rankine pada tahun 1820-1872 mengembangkan teori sumber (*source*) dan sumur (*sinks*). Helmholtz pada tahun 1821-1894 mengenalkan teori potensial kecepatan (*velocity potential*) dan menemukan teori vortex dan pergerakan yang tidak berlanjut. Kirchhhof pada tahun 1824-1887 dan Rayleigh pada tahun 1842-1919 melanjutkan penelitian mengenai pergerakan yang tidak berlanjut suatu fluida dan tahanannya. Osborne Reynolds pada tahun 1842-1912 melakukan penelitian tentang pergerakan fluida berviskositas, mengenalkan konsep aliran laminar dan turbulen dan mengenalkan perubahan yang tiba-tiba pada fluida dari satu regime ke regime lainnya.

Joukowski pada tahun 1847-1921 mengembangkan teori dari perencanaan aerofoil dan teori tersebut terkenal dengan namanya sendiri. Lanchester pada tahun 1868-1945 mengembangkan dua teori modern tentang penerbangan, pertama ide sirkulasi yang menyebabkan gaya angkat dan kedua ide adanya ulekan diujung foil yang menghasilkan gaya drag. Prandtl pada tahun 1875-1953 mengenalkan teori lapisan batas (*boundary layer*) sehingga mengenalkan ide *fluida viscous* dan *inviscid*.

### 2.5.2. Definisi Hidrodinamika

Hidrodinamika merupakan salah satu cabang ilmu yang berhubungan dengan gerak *liquid* atau lebih dikhususkan pada gerak air. Skala atau lingkup analisis ilmu ini adalah pada gerak partikelir air atau dapat disebut dalam skala makroskopik. Skala makroskopik disini memiliki maksud air tersusun dari partikel-partikel fluida. Mengapa makroskopik karena partikel fluida bukan skala terkecil namun skala terkecil air adalah atom. Lebih penting lagi bidang ini merupakan aplikasi matematik bukan fisika. Karena berhubungan dengan perlakuan matematik dari persamaan- persamaan dasar fluida kontinyu berbasis hukum-hukum newton. Jadi objek yang dijadikan bahan analisa merupakan fluida newton.

Kata Hidrodinamika mempunyai pengertian bahwa suatu ilmu yang mempelajari tentang fenomena yang terjadi pada fluida dimana fluida diasumsikan *incompressible* dan *inviscid* (*zero viscosity*). Analisa aliran fluida dapat menggambarkan bentuk dari aliran dimana sesuai perkiraan dari aliran sebenarnya pada daerah di luar lapisan batas (*boundary layer*). Pada umumnya fluida akan mengalami deformasi, elastis, plastis dan mengalir akibat adanya gaya.

Fluida terbagi menjadi gas (*gases*) dan air (*liquid*), untuk gas (*gases*) pada umumnya diklasifikasikan pada fluida kompresibel (*compressible fluid*) dan air (*liquid*) diklasifikasikan sebagai aliran yang tidak mengalami perubahan tekanan (*incompressible fluids*). Di dalam analisa hidrodinamika maka secara keseluruhan fluida dianggap *incompressible*. Dalam hal ini pengertian liquid dapat diartikan sebagai air meskipun sedikit mempunyai viskositas. Untuk mempermudah didalam perhitungan matematisnya maka digunakan pengertian ilmu mekanika dan



memprmudah asumsi dengan menganggap bahwa fluida adalah *inviscid* atau *fluida ideal*.

*Inviscid fluid* adalah fluida tidak mengalami perubahan viskositas, viskositasnya kontinyu dan gesekan antar partikelnya relatif kecil. Lebih jauh lagi, apabila fluida mengalir dalam suatu pipa maka *tangential stress* pada fluida sama dengan nol, sehingga tidak ada energi dan fluida dapat mengalir bebas tanpa adanya hambatan. Satuan yang sering digunakan didalam analisa hidrodinamika adalah panjang, massa, waktu, temperatur, kecepatan, percepatan, gaya, tekanan dan energi. Dalam perhitungan matematisnya satuan tersebut dalam besaran dan arah, sebagai contoh dalam sistem dinamika maka suatu penurunan dapat diartikan mempunyai panjang, massa dan waktu, dan berubah unit satuannya dari *foot*, *pound*, detik ke *mile*, *ton* dan jam.

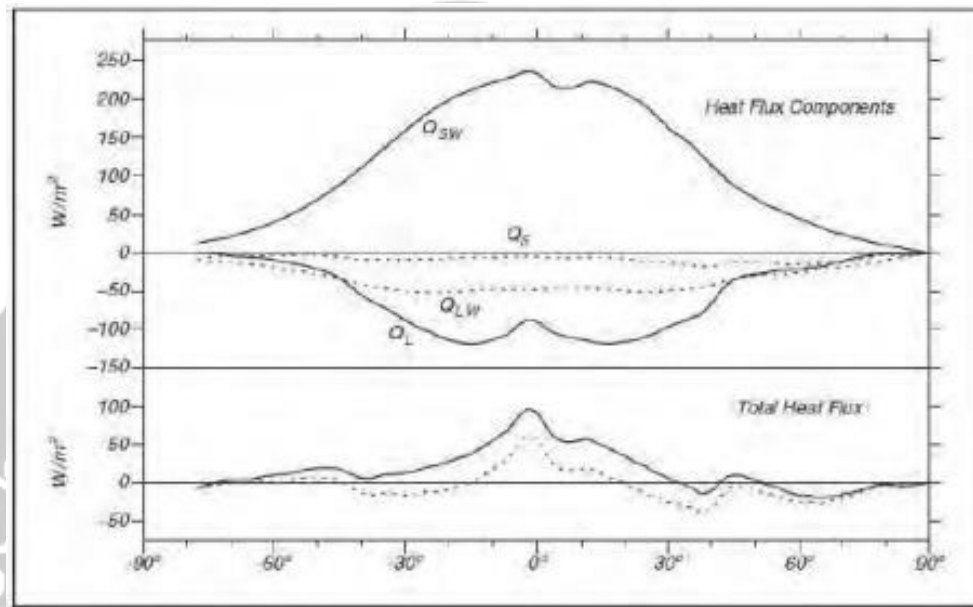
## **2.6. Komponen Hidrodinamika**

### **2.6.1 Temperatur**

Temperatur dan salinitas adalah karakteristik fisik air laut yang sangat penting, karena dapat digunakan untuk mengidentifikasi badan air laut secara umum. Temperatur, salinitas dan tekanan dapat menentukan kerapatan air laut. Sebaran temperatur pada permukaan laut dapat dipengaruhi oleh fluks panas, penguapan, curah hujan, air sungai yang mengalir ke laut serta pembekuan dan pencairan es di laut (Purba, 2004).

Fluks panas terdiri dari beberapa komponen, yaitu *insolation (incoming solar radiation)* QSW, radiasi infra merah QLW, fluks panas sensible QS dan fluks panas

laten QL. Besarnya komponen-komponen fluks panas ditunjukkan oleh grafik pada Gambar 2.5.



**Gambar 2.5.** Komponen fluks panas

(Sumber : Stewart, 2002)

Sebaran temperatur pada permukaan laut cenderung bersifat *zional*, yaitu tidak bergantung pada posisi garis bujur. Perbedaan temperatur terutama disebabkan oleh kenaikan panas di lapisan permukaan di daerah equator dan pengurangan panas di daerah kutub. Air paling hangat berada di sekitar equator dan air paling dingin berada di sekitar kutub.

Temperatur permukaan laut memiliki anomali, deviasi temperatur dalam jangka panjang sangat kecil, kurang dari  $1,5^{\circ}\text{C}$  kecuali di samudera Pasifik di sekitar ekuator deviasi bisa mencapai  $30^{\circ}\text{C}$  (Stewart, 2002). Profil temperatur terhadap kedalaman menunjukkan tiga zona yang berbeda di bawah permukaan air (0 - 5 m), yaitu zona atas (*upper zone*), termoklin (*thermocline*) dan zona dalam (*deep zone*) (Kennish, 2001). Zona atas pada kedalaman 5 sampai 200 meter merupakan lapisan dimana terjadi pencampuran yang baik, yang dicirikan dengan kondisi yang hampir *isothermal* dan dapat dipengaruhi oleh angin permukaan.

Perubahan temperatur tidak berpengaruh pada lapisan ini. Pada kedalaman antara 200 - 1000 meter, temperatur air naik dengan cepat. Lapisan ini disebut termoklin. Pada bagian bumi dengan posisi garis lintang rendah sampai pertengahan, termoklin merupakan perilaku hidrografi yang permanen, sedangkan pada posisi garis lintang tinggi kondisi termoklin terbentuk secara musiman. Termoklin musiman sering terjadi pada kedalaman 50 - 100 meter pada air laut di posisi lintang pertengahan.

Temperatur dengan stabilitas rendah (rata-rata  $4^{\circ}\text{C}$ ) ditemukan di bawah termoklin permanen. Profil temperatur pada posisi lintang yang rendah menunjukkan penurunan yang tajam dari  $20^{\circ}\text{C}$  pada lapisan permukaan, menjadi sampai  $5^{\circ}\text{C}$  pada zona dalam. Pada garis lintang pertengahan *temperature* turun dari  $10^{\circ} - 15^{\circ}\text{C}$  di permukaan menjadi  $5^{\circ}\text{C}$  pada lapisan air yang lebih dalam. Pada posisi lintang tinggi (daerah kutub), temperatur selalu rendah ( $4^{\circ}\text{C}$ ) pada seluruh kolom air.

### **2.6.2. Arus Laut**

Arus laut adalah pergerakan massa air di laut baik itu secara vertikal atau secara horizontal sehingga membentuk gerakan seimbang yang sangat luas di seluruh lautan di dunia. Ada beberapa penyebab dari munculnya air laut, diantaranya adalah tiupan angin atau perbedaan densitas atau pergerakan dari gelombang laut.

Sebaran arus kanal pendingin pada air laut sangat dipengaruhi oleh pola kecepatan aliran atau arus laut. Ada beberapa faktor yang mempengaruhi sirkulasi air di pesisir.

### 2.6.2.1. Faktor Pengaruh Arus Laut

Secara umum ada dua faktor yang mempengaruhi terjadinya arus laut, sebagai berikut.

1. Faktor Internal, merupakan faktor yang berhubungan dengan air laut itu sendiri. Faktor – faktor yang termasuk dalam faktor internal adalah sebagai berikut, :

- a) Densitas air, Gradien tekanan, gradien tekanan horizontal sangat dipengaruhi oleh tekanan, massa air, kedalaman dan juga densitas dari massa air tersebut, yang mana jika densitas laut homogen, maka gaya gradien tekanan horizontal adalah sama untuk kedalaman berapapun. Jika tidak ada gaya horizontal yang bekerja, maka akan terjadi percepatan yang seragam dari tekanan tinggi ke tekanan yang lebih rendah.
- b) Gesekan lapisan air laut, merupakan faktor yang berperan dalam memperlambat gerakan arus dan memperkecil kecepatan arus. 10% dari air laut dunia bergerak secara horizontal di lapisan permukaan (0 – 400 m), di lapisan permukaan ini gerakan arus ditimbulkan oleh *stress* angin dan ekspansi *thermal* dan kontraksi air. Arus permukaan menggerakkan air di atas pinoklin. 90% dari air laut dunia bergerak di dalam dan di bawah lapisan pinoklin, gerakan arus bawah permukaan ini digerakkan oleh gravitasi akibat perbedaan densitas di antara lapisan air, yang membuat *thermohaline*. Lapisan pinoklin adalah zona dimana densitas

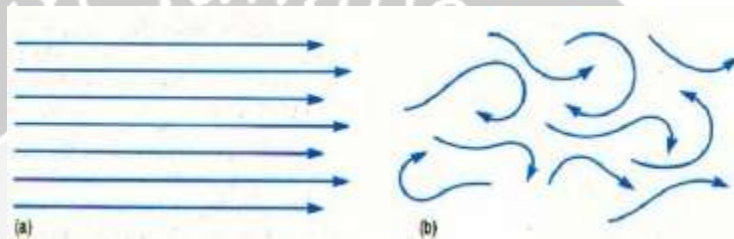
berubah secara drastis. Pada lintang tinggi, lapisan campur dan pinoklin tidak ada. Pinoklin bertindak sebagai batas berpori yang memungkinkan energi kinetik untuk memasuki lapisan dalam (Nazareth, 2011).

- c) Kadar garam air laut, kadar atau berat jenis air laut yang berbeda juga akan menyebabkan terbentuknya arus laut. Pada bagian permukaan, air yang berat jenisnya kecil akan mengalir ke arah air yang berat jenisnya besar. Sedangkan di bagian laut dalam, air yang memiliki berat jenis besar akan mengalir ke air yang berat jenisnya rendah. Air laut yang bersalinitas tinggi akan bergerak ke kadar air laut yang bersalinitas rendah. Itulah yang disebut perbedaan densitas air laut. Perbedaan densitas air laut menyebabkan pergerakan di kedalaman air laut .

2. Faktor Eksternal, merupakan faktor yang berhubungan dengan komponen-komponen laut di sekitar lautan. Faktor-faktor eksternal tersebut sebagai berikut, di bawah ini.

- a) Gerakan angin , arus permukaan laut umumnya digerakan oleh *stress* angin yang bekerja pada permukaan laut. Angin cenderung mendorong lapisan air di permukaan laut dalam arah gerakan angin. Tetapi karena pengaruh rotasi bumi atau pengaruh gaya coriolis, arus tidak bergerak searah dengan arah angin tetapi dibelokan ke arah kanan dari arah angin di belahan bumi utara dan arah kiri di belahan bumi selatan. Jadi angin dari selatan (di belahan bumi utara)

akan membangkitkan arus yang bergerak ke arah timur laut. Arus yang dibangkitkan angin ini kecepatannya berkurang dengan bertambahnya kedalaman dan arahnya berlawanan dengan arah arus di permukaan. Hal ini menyebabkan terbentuknya 2 tipe pola arus yang dijelaskan pada Gambar 2.6 yakni aliran laminar dan turbulen.



**Gambar 2.6.** Pola aliran arus laut : (a) Aliran laminar, (b) Aliran Turbulen

(Sumber : <http://www.pelajaran.co.id/2017/01/pengertian-arus-laut-jenis-jenis-dan-penyebab-terjadinya-arus-laut.html>)

- b) Tekanan udara, sebenarnya tekanan udara ini lebih mempengaruhi pada pergerakan angin. Pergerakan angin biasanya bergerak dari tempat dengan tekanan udara yang tinggi ke tekanan udara yang lebih rendah.
- c) Gaya gravitasi, faktor gravitasi ini berasal dari pergerakan kedudukan bulan dan matahari. Hal ini menyebabkan permukaan air laut di suatu tempat tertentu naik mencapai ketinggian tertentu dan kemudian turun kembali seiring dengan perubahan konfigurasi benda-benda langit tersebut. Biasanya permukaan air laut mengalami kenaikan ketika malam atau ketika kedudukan bulan berada tepat di atas laut dan berlaku sebaliknya ketika kedudukan matahari di atas permukaan air laut.

- d) Bentuk topografi permukaan dasar laut (*seabed*), lautan yang dibatasi banyak massa daratan akan menghasilkan suatu sistem yang cenderung terbuka dan membuat aliran mengarah dalam suatu bentuk seperti melingkari daratan tersebut. Semakin banyak daratan di suatu pesisir pantai maka arus laut cenderung tenang karena gelombang yang menuju pesisir pantai diredam terlebih dahulu oleh daratan yang mengapit pesisir tersebut.
- e) Temperatur dan cahaya matahari, Perbedaan temperatur pada kedalaman laut tidak lepas dari pengaruh sinar matahari. Panas dari sinar matahari ini dapat masuk ke laut hingga kedalaman 50 – 70 m. Struktur dari lapisan yang terkena sinar matahari dengan lapisan laut yang tidak terpengaruh oleh sinar matahari akan berbeda, oleh karena itu keadaan ini akan mempengaruhi arus lautnya.

#### **2.6.2.2. Proses Terbentuknya Arus Laut**

Air laut terbentuk karena proses pergerakan massa air dalam menuju keseimbangan yang melibatkan perpindahan secara horizontal dan vertikal massa air tersebut. Gerakan ini terbentuk dari resultan beberapa gaya yang bekerja dan beberapa faktor (telah dijelaskan di atas) yang mempengaruhinya.

Ketika angin berhembus di laut, energi ditransferkan dari angin ke permukaan. Semakin cepat angin bergerak, semakin besar pula gaya gesekan yang bekerja pada permukaan sehingga semakin besar pula arus laut yang terbentuk. Kemudian pada saat yang bersamaan terjadi perputaran bumi pada porosnya

sehingga akan menimbulkan gaya coriolis, gaya ini akan membelokkan arus dibagian bumi utara ke kanan, dan dibagian bumi selatan ke kiri. Pada saat yang sama pula faktor faktor seperti gaya gravitasi, kadar garam, densitas, suhu, tekanan udara, sinar matahari, dll, ikut berperan dalam sistem pembentukan arus laut tersebut.

#### 2.6.2.3. Klasifikasi Jenis Arus Laut

1. Berdasarkan Penyebabnya

- a) Arus *Ekman*, merupakan arus laut yang dipengaruhi oleh angin.
- b) Arus *Termohaline*, merupakan arus yang dipengaruhi oleh densitas dan gravitasi.
- c) Arus Pasut, merupakan arus yang dipengaruhi oleh pasut.
- d) Arus *Geostropik*, merupakan arus laut yang dipengaruhi oleh gradien tekanan mendatar dan gaya *corolis*.
- e) Arus *Wind Driven Current*, merupakan arus yang dipengaruhi oleh pola pergerakan angin dan terjadi di lapisan permukaan laut.

2. Berdasarkan Kedalamannya

- a) Arus Permukaan, merupakan arus yang terjadi pada beberapa ratus meter dari permukaan, biasanya bergerak secara horizontal dengan dipengaruhi oleh pola persebaran angin.
- b) Arus Dalam, terjadi jauh di dasar laut, arah pergerakannya tidak dipengaruhi oleh pergerakan angin, biasanya membawa massa air dari daerah kutub ke daerah ekuator.



## 2.7. Pasang Surut

Pasang surut merupakan peristiwa naik turunnya permukaan air laut secara periodik. Pasang surut menyebabkan terbentuknya gelombang yang paling panjang di laut dan juga arus yang disebut arus pasut. Pasang surut menghasilkan arus yang kuat pada bagian-bagian laut. Arus pasang surut dapat memiliki kecepatan mencapai 5 m/s pada laut pesisir (Stewart, 2002). Ketinggian pasut dapat diprediksi dengan metode harmonik.

Metode tersebut memanfaatkan pengetahuan bahwa pasang surut yang diamati merupakan jumlah dari beberapa komponen atau pasang surut parsial, masing-masing dengan periode yang berhubungan dengan periode salah satu gerakan astronomi antara bumi, matahari dan bulan (Supangat dan Susanna, 2008).

Karena elevasi muka air laut selalu berubah setiap saat, maka diperlukan suatu elevasi yang ditetapkan berdasar data pasang surut, yang dapat digunakan sebagai pedoman di dalam perencanaan suatu pelabuhan. Elevasi muka air pasang surut ditentukan berdasarkan pengukuran selama 1 hari, 15 hari atau 30 hari. Beberapa elevasi tersebut adalah sebagai berikut:

1. Muka air laut tinggi (*high water level*), mukai air tertinggi yang dicapai pada saat air pasang dalam satu siklus pasang surut.
2. Muka air rendah (*low water spring*), kedudukan air terendah yang dicapai pada saat air surut dalam satu siklus pasang surut.
3. Muka air tinggi rerata (*mean high water level*, MHWL), adalah rerata dari muka air tinggi selama periode 19 tahun.

4. Muka air rendah rerata (*mean low water level*, MLWL), adalah rerata dari muka air rendah selama periode 19 tahun.
5. Muka air laut rerata (*mean sea level*, MSL), adalah muka air rerata antara muka air tinggi rerata dan muka air rendah rerata. Elevasi ini digunakan sebagai referensi elevasi di daratan.
6. Muka air tertinggi (*highest high water level*), adalah air tertinggi pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.
7. Air rendah terendah (*lowest low water level*, LLWL), adalah air terendah pada saat pasang surut purnama atau bulan mati.

Bentuk pasang surut di berbagai daerah tidak sama. Di suatu daerah dalam satu hari dapat terjadi satu kali pasang surut. Secara umum pasang surut di berbagai daerah dapat dibedakan empat tipe, yaitu pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*), harian ganda (*semidiurnal tide*) dan dua jenis campuran.

1. Pasang surut harian ganda (*semi diurnal tide*)

Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut dengan tinggi yang hampir sama dan pasang surut terjadi secara berurutan secara teratur.

Tipe pasang surut rata-rata adalah 12 jam 24 menit. Pasang surut jenis ini terdapat di selat Malaka sampai laut Andaman.

2. Pasang surut harian tunggal (*diurnal tide*)

Dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut dengan periode pasang surut adalah 24 jam 50 menit. Pasang surut tipe ini terjadi di perairan selat Karimata.

3. Pasang surut campuran condong ke harian

Dalam satu hari terjadi dua kali air pasang dan dua kali air surut, tetapi tinggi dan periodenya berbeda. Pasang surut jenis ini banyak terdapat di perairan Indonesia Timur.

#### 4. Pasang surut campuran condong ke harian tunggal

Pada tipe ini, dalam satu hari terjadi satu kali air pasang dan satu kali air surut, tetapi kadang-kadang untuk sementara waktu terjadi dua kali pasang dan dua kali surut dengan tinggi dan periode yang sangat berbeda. Pasang surut jenis ini terdapat selat Kalimantan dan pantai utara Jawa Barat.

Menurut Triatmadja (2009 : 89), pasang surut merupakan gelombang teratur yang dibentuk oleh komponen - komponen harmonik yang merupakan komponen utama pada pasang surut, komponen utama tersebut adalah memiliki amplitudo, frekuensi, perioda, dan fase. Komponen-komponen tersebut dipengaruhi oleh keadaan geografis pada daerah tersebut. Ada banyak komponen pasang surut, akan tetapi yang memberikan dampak pengaruh yang signifikan hanya beberapa komponen. Beberapa komponen harmonik pasang surut dapat dilihat pada Tabel 2.1.

### 2.8. Debit Aliran

Debit aliran atau laju alir adalah volume air yang melewati suatu bagian saluran per satuan waktu. Suatu bagian yang dimaksud disini dapat berupa sungai, pipa, dan sebagainya. Debit adalah suatu koefisien yang menyatakan banyaknya air yang mengalir dari suatu sumber persatuan waktu, biasanya diukur dalam satuan liter per/detik atau m/s, untuk memenuhi kebutuhan air pengairan, debit air harus

lebih cukup untuk disalurkan ke saluran yang telah disiapkan (Dumiary, 1992). Pada dasarnya debit air yang dihasilkan oleh suatu sumber air ditentukan oleh beberapa faktor – faktor. Debit aliran dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$Q = v \times A \quad (2-1)$$

Keterangan:

Q = Debit atau laju alir (m<sup>3</sup>/s)

A = Luas bagian penampang basah (m<sup>2</sup>)

v = Kecepatan aliran (m/s)

**Tabel 2.1.** Beberapa Komponen Harmonik Pasang Surut

Jenis	No	Simbol	Periode (jam)	Keterangan
Semi diurnal (Ganda)	1	M2	12,42	Bulan utama
	2	S2	12	Matahari utama
	3	N2	12,66	Elips bulan besar
	4	K2	11,97	Bulan matahari
Diurnal (Tunggal)	5	K1	23,93	Matahari bulan
	6	O1	25,82	Bulan utama
	7	P1	24,07	Matahari utama
Long Period (Periode panjang)	8	M0	327,86	Bulan dua mingguan

## 2.9. Kekasaran Laut dan Viskositas Olakan

Kekasaran (*roughness*) dasar laut dan viskositas olakan (*Eddy viscosity*) dapat mempengaruhi profil air permukaan, kecepatan aliran dan distribusi kecepatan pada badan air laut. Kekasaran Manning (n) merupakan koefisien permukaan yang digunakan untuk menggambarkan resistensi terhadap aliran akibat kekasaran permukaan dasar laut (Khayyun, 2008).

Di permukaan laut, gerakan air tidak pernah laminar, tetapi turbulen sehingga kelompok-kelompok air ditukar antara satu bagian fluida ke bagian fluida yang lain. Gesekan internal yang dihasilkan lebih besar daripada yang disebabkan oleh pertukaran molekul individu dan disebut viskositas olakan (Supangat dan Susanna, 2008).

Dalam mempelajari turbulensi dalam fluida, umumnya vortisitas dalam skala kecil diabaikan dalam perhitungan. Viskositas olakan dengan skala lebih besar lebih banyak digunakan dalam perhitungan. Nilai viskositas olakan yang digunakan dalam pemodelan sirkulasi laut berkisar antara  $5 \times 10^4$  sampai  $10^6$  Pa.s, tergantung pada resolusi grid numerik yang digunakan (Glamore, 2007).

Dalam pembentukan persamaan gerak, viskositas olakan sesungguhnya merepresentasikan viskositas *molecular* dan efek turbulensi dari tegangan Reynold. Akan tetapi dalam aliran dimana tegangan Reynold lebih dominan, umumnya besar viskositas olakan lebih besar daripada viskositas *molecular*, sehingga viskositas molekular dapat diabaikan.

Nilai viskositas akan meningkat seiring dengan meningkatnya ukuran elemen dan kecepatan aliran (Khayyun, 2008). Besarnya viskositas olakan berdasarkan jenis aliran disajikan dalam Tabel 2.2.

**Tabel 2.2.** Besarnya viskositas olakan berdasarkan jenis aliran

Jenis Aliran	Viskositas Olakan, pasca detik
Aliran horizontal homogeny sekitar pulau	480 - 4800
Aliran horizontal homogeny pada pertemuan dua sungai	1200 -4800
Aliran tunak termal ke sungai dengan arus lambat	950 - 4800
Aliran pesisir dalam muara yang berawa-rawa	2400 - 9580
Aliran lambat pada kolam dangkal	10 - 50

### **2.10. Permodelan Numerik Hidrodinamika Laut**

Model numerik hidrodinamika laut terdiri dari beberapa komponen yaitu data yang diperlukan, model konseptual dan metode untuk menyelesaikan persamaan. Kunci dalam pembuatan model hidrodinamika adalah ketersediaan data dan informasi yang cukup untuk karakteristik tipe arus yang diharapkan dalam sistem. Data harus tersedia untuk sejumlah daerah. Data yang diperlukan dalam pemodelan adalah data geografi, arus, kandungan zat, kondisi awal dan data untuk kalibrasi model. Data geografi menggambarkan keadaan sistem. Data arus mendefinisikan batas arus melintang dari sistem. Kandungan zat mendefinisikan kualitas air.

Pemodelan arus sangat kompleks, sehingga harus dilakukan penyederhanaan sistem sebanyak mungkin dengan memperhatikan bahwa komponen utama *system* tetap terepresentasikan secara penuh. Persamaan yang dikembangkan secara umum bersifat *transient* (merupakan fungsi dari waktu), non-linear, dan sangat kompleks jika arus mengalami turbulensi.

Persamaan menjadi lebih kompleks karena densitas air dapat berubah. Maka untuk kasus sangat umum, simulasi juga harus secara simultan mencakup solusi untuk parameter-parameter yang mempengaruhi densitas seperti salinitas dan temperatur. Jika arus dipengaruhi oleh densitas, maka arus digambarkan secara bertingkat. Jika arus tidak dipengaruhi densitas, maka arus digambarkan secara homogen. Model sebaran temperatur pada badan air laut terdiri dari persamaan hidrodinamika

dan persamaan *adveksi-difusi* yang telah dikembangkan oleh Mellor (2004) menggunakan persamaan kontinuitas dan momentum.

### 2.11. Model Hidrodinamika Delft3D

Delft3D-Flow adalah sebuah modul yang ada di dalam software Delft3D yang digunakan untuk menghitung kecepatan arah arus. Delft3D sendiri merupakan salah satu *software* yang dikembangkan oleh deltares sebagai *suite* perangkat lunak komputer terpadu yang unik untuk Multi-Disiplin. Pendekatan dan perhitungan di daerah pesisir, sungai dan muara dapat dilakukan simulasi arus, transport sedimen, gelombang, kualitas air, perkembangan morfologi, dan ekologi. Para ahli dan non-ahli merancang Suite Delft3D tersusun dari beberapa modul yang sementara mampu berinteraksi. Adapun Delft3D-FLOW manual salah satu dari modul ini adalah simulasi hidronamika multi dimensi (2D dan 3D), program yang menghitung fenomena aliran dan arus yang dihasilkan dari pasang surut dan Meteorolgi yang memaksa pada persegi panjang atau lengkung, *grid* yang dipasang batas untuk mencapai pendekatan koordinat.

*Software* ini membutuhkan perangkat lunak pendukung seperti MATLAB, dan ArcGIS. Informasi luas genangan ini sangat bermanfaat untuk memprediksikan tindakan apa yang akan dilakukan terhadap suatu kawasan dan sebagai alat bantu untuk memprediksi informasi yang yang ditampilkan dalam peta bencana (*hazard map*). Hasil akhir dari simulasi Delft3D ditampilkan dalam format GIS, berupa genangan tsunami yang

terjadi di kawasan pantai yang dibangkitkan oleh gempa bumi yang terjadi di lautan dengan skenario yang sudah dipersiapkan sebelumnya.

*Hydrodynamic modul* dapat diaplikasikan untuk mensimulasikan fenomena lingkungan dan hidrodinamika di danau, muara, teluk, area pantai, dan laut (Deltares, 2007). Tujuan utama Delft3D adalah untuk menyelesaikan persamaan differensial parsial yang dipengaruhi arus horizontal. Seperti persamaan differensial lainnya, Delft3D memerlukan kondisi batas. Kondisi batas pada Delft3D ini ada dua yaitu *closed boundary* dan *open boundary*. Pada *closed boundary normal flux* diasumsikan nol untuk semua *variable*. Sedangkan pada *open boundary* dapat ditetapkan sebagai bentuk ketinggian permukaan bumi untuk persamaan hidrodinamika.

Secara umum *boundary data* yang diperlukan adalah :

- a. Ketinggian permukaan pada *open boundary*
- b. Batimetri
- c. *Bed resistance*
- d. Arah dan kecepatan angin
- e. Data pasang surut

Simulasi penyebaran panas ini akan dilakukan dengan menggunakan Delft3D, yang mana hasil yang diharapkan adalah dalam bentuk dua dimensi sehingga dapat diketahui penyebaran panas terhadap luasan dari perairan. Persamaan yang digunakan pada model ini adalah persamaan kontinuitas dan persamaan momentum dengan perata-rataan



kedalaman. Model ini menggunakan pendekatan metode beda hingga (*finite difference method*) untuk menyelesaikan persamaan yang digunakan. Berikut uraian persamaan yang digunakan dalam model (Abbott et al., 1978) :

Persamaan kontinuitas

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = S \quad (3-2)$$

Persamaan momentum

$$\begin{aligned} \frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial u^2}{\partial x} + \frac{\partial vu}{\partial y} + \frac{\partial wu}{\partial z} = f_v - g \frac{\partial n}{\partial x} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho_0}{\partial x} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^n \frac{\partial \rho}{\partial x} + F_u + \\ \frac{\partial}{\partial z} \left( Vt \frac{\partial u}{\partial z} \right) + u_s S \end{aligned} \quad (2-3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial v^2}{\partial x} + \frac{\partial uv}{\partial y} + \frac{\partial wv}{\partial z} = f_u - g \frac{\partial n}{\partial y} - \frac{1}{\rho_0} \frac{\partial \rho_0}{\partial y} - \frac{g}{\rho_0} \int_z^n \frac{\partial \rho}{\partial y} + F_v + \\ \frac{\partial}{\partial z} \left( Vt \frac{\partial v}{\partial z} \right) + v_s S \end{aligned} \quad (2-4)$$

Persamaan yang digunakan untuk pemodelan sebaran panas adalah persamaan adveksi-dispersi (Ramming and Kowalik, 1980) yaitu :

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial uT}{\partial x} + \frac{\partial vT}{\partial y} + \frac{\partial wT}{\partial z} = F_T + \frac{\partial}{\partial z} \left( D_h \frac{\partial T}{\partial z} \right) + T_s S \quad (2-5)$$

dengan  $t$  adalah waktu,  $x, y, z$  adalah koordinat kartesian  $u, v, w$  adalah komponen kecepatan,  $T$  adalah temperatur,  $S$  adalah debit dari titik sumber,  $T_s$  merupakan temperatur sumber,  $F_T$  merupakan difusi arah horizontal,  $D_h$  merupakan koefisien difusi arah horizontal dan  $h$  adalah kedalaman.

## 2.12. Peta Batimetri

Peta yang menggambarkan kedalaman laut dan disajikan dengan menggunakan garis kontur kedalaman, beberapa peta batimetri juga menyajikan informasi navigasi permukaan. Garis kontur adalah garis abstrak yang menghubungkan beberapa lokasi atau daerah yang memiliki ketinggian atau kedalaman yang sama. Untuk pengukuran topografi, surveyor membutuhkan sejumlah titik-titik kontrol yang dipakai sebagai titik patokan. Titik kontrol tersebut dikatakan pada stasiun pasang surut untuk mendapatkan referensi ketinggian terhadap muka laut rata-rata.

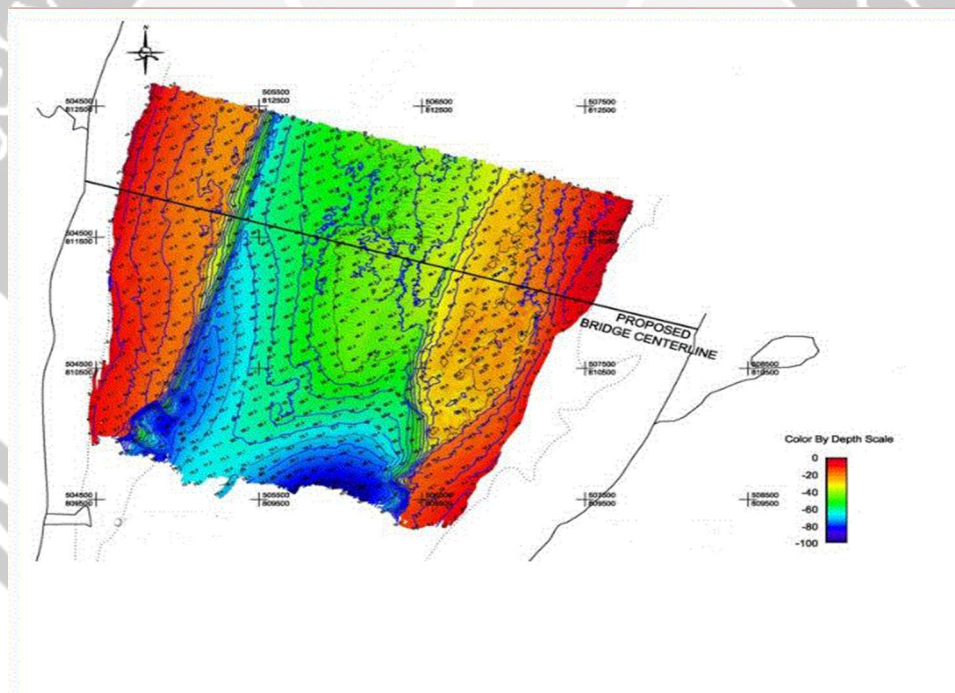
Pengukuran kedalam lautan pada dasarnya dilakukan dengan menggunakan *ecosounding*. Prinsip pengukuran dengan *ecosounding* adalah dengan memancarkan gelombang suara ke arah dasar laut. Alat *ecosounder* akan mencatat waktu pada saat gelombang suara dipancarkan ke dasar laut dan waktu kedatangan pantulan gelombang suara tersebut.

Secara matematis jarak merupakan hasil perkalian antara kecepatan gelombang dengan waktu. Kecepatan gelombang suara sudah diketahui dan waktu perambatan gelombang dapat dihitung dari selisih waktu pemancaran gelombang dengan waktu kedatangan pantulan gelombang. Hasil perkalian kecepatan dengan waktu rambat gelombang menunjukkan jarak dalam hal ini kedalaman laut.

Peta batimetri digunakan dalam berbagai sektor seperti pertambangan, perhubungan, militer, penelitian dan lainnya. Dengan adanya peta batimetri maka informasi kedalaman laut, gambaran dasar laut

dapat diketahui. Sensor biasanya akan dipasang pada wahana seperti kapal laut atau kapal selam kemudian setiap wilayah lautan akan dieksplorasi hingga mendapatkan gambar yang akurat.

Bagi nelayan sebenarnya penggunaan *ecosounder* ini dapat membantu dalam mendeteksi titik berkumpulnya ikan. Namun tentunya nelayan yang menggunakan alat ini harus menjadi nelayan modern dan seorang pembaca peta yang baik. Gambaran peta batimetri dapat dilihat pada Gambar 3.7.



**Gambar 2.7.** Peta Batimetri

(Sumber : wikipedia.org)

### 2.13. Land Boundaries

*Land boundaries* merupakan garis batas sebagai pemisah antara daratan dengan wilayah perairan. Pada permodelan hidrodinamika pemberian batas land boundaries ini sangatlah penting, karena nantinya program Delft3D

hanya akan melakukan perhitungan permodelan hanya pada wilayah perairan begitu juga pada saat proses penginterpolasian data sampel batimetri. *Land boundaries* ini terdiri dari titik–titik koordinat batas wilayah daratan dan perairan yang dihubungkan menjadi garis atau polygon. Titik–titik koordinat ini diperoleh dari track point pada peta lokasi yang diperoleh dari program Google Earth dengan menggunakan program ArcGis dalam tahap *tracking* titik–titik batas untuk *land boundaries* tersebut.

#### **2.14. Arah dan Kecepatan Angin**

Angin merupakan aliran udara dalam jumlah yang besar yang timbul akibat adanya rotasi bumi, perbedaan suhu dan perbedaan tekanan udara antara dua tempat dengan kecepatan yang dinamis dan *fluktuatif*. Atau bisa juga disebut sebagai perpindahan massa udara dari satu tempat ke tempat lainnya secara horizontal atau hampir horizontal. Pengaruh perputaran bumi terhadap angin disebut dengan pengaruh carioles (*carioles effect*).

Efek ini menyebabkan angin bergerak searah jarum jam mengitari daerah bertekanan rendah di belahan bumi selatan sebaliknya bergerak berlawanan arah jarum jam mengitari daerah bertekanan rendah di bumi utara. Angin memiliki arah dan kecepatan. Angin mengikuti pola umum sirkulasi udara atau *prevailing wind*. *Prevailing wind* pada daerah tropis disebut *trade wind*, pada daerah beriklim sedang *westerlies wind* dan pada daerah kutub disebut *polar wind*.

Angin di dekat permukaan bumi kecepatannya lebih rendah dibandingkan dengan lapisan udara yang lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh hambatan akibat gesekan dengan permukaan bumi. Arah angin pada ketinggian lapisan udara yang tinggi juga lebih bervariasi. Pada ketinggian 6 - 12 km dapat dijumpai angin dengan kecepatan sampai 300 km/jam yang umumnya berhembus dari barat disebut *jet stream*.

